

ANALISIS VEGETASI HUTAN RAWA BUATAN SEBAGAI AGEN FITOREMEDIASI DI PERTAMBANGAN BATUBARA, KALIMANTAN SELATAN

(Analysis of Constructed Swamp Forest Vegetation as A Phytoremediation Agent in Coal Mining, South Kalimantan)

CITRA RAHMATIA¹⁾, IWAN HILWAN²⁾, IRDIKA MANSUR³⁾ DAN IHSAN NOOR⁴⁾

¹⁾ Program Studi Silvikultur Tropika, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor

^{2,3)} Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor

⁴⁾ PT Jorong Barutama Greston

Email : citrarahmatia@gmail.com

Diterima 12 Februari 2019 / Disetujui 23 April 2019

ABSTRACT

Coal mining activities could potentially interfere with the environment. One of the environmental disturbances in coal mining activities is the formation of acid mine drainage (AMD). AMD management can be done passively through the construction of swamp forest. The constructed swamp forest system uses organic material in the form of cow manure which serves as a growing plants' medium. Phytoremediation is an attempt to use plant species in the accumulation of heavy metals. This study was aimed to know the AMD management system passively and identify the diversity of plants in artificial swamp forests. Purposive sampling method with a sample size of 2 x 2m in 10 plots/compartments was used to identify the plant diversity in constructed swamp forest. The observation was made both before and after AMD flowed. Constructed swamp forest consist of 6 compartments (2 sediment pond compartments and 4 swamp compartments). The results of the vegetation analysis found that before the AMD flowed, 21 species are still capable growing naturally in constructed swamp forest, however, it became 15 after the AMD flowed. *Cyperus iria*, *Fimbristylis griffithii*, *Scirpus juncoides*, *Ludwigia hyssopifolia*, *Cyperus platystylis* and *Monochoria vaginalis* are six dominant species that can be used as phytoremediation agent in constructed swamp forest.

Keywords: Acid Mine Drainage, constructed swamp forest, phytoremediation

ABSTRAK

Kegiatan pertambangan batubara berpotensi mengganggu lingkungan. Salah satu gangguan lingkungan adalah terbentuknya air asam tambang (AAT). Pengelolaan AAT dapat dilakukan secara pasif melalui konstruksi hutan rawa buatan. Sistem hutan rawa buatan menggunakan bahan organik berupa pupuk kotoran sapi yang berfungsi sebagai media tumbuh tanaman. Fitoremediasi merupakan upaya penggunaan jenis tumbuhan dalam akumulasi logam berat. Tujuan penelitian adalah mengetahui sistem pengelolaan AAT secara pasif serta mengidentifikasi keanekaragaman tumbuhan yang ada di hutan rawa buatan. Analisis vegetasi tumbuhan di hutan rawa buatan menggunakan metode purposive sampling dengan ukuran petak contoh 2 x 2m sebanyak 10 petak/kompartemen. Pengamatan dilakukan pada saat sebelum dan sesudah AAT dialirkan. Hutan rawa buatan yang terdiri dari 6 kompartemen (2 kompartemen pengendap lumpur dan 4 kompartemen rawa buatan). Hasil analisis vegetasi yang dilakukan pada saat AAT belum dialirkan ditemukan 19 spesies yang mampu tumbuh secara alami di hutan rawa buatan, kemudian setelah AAT dialirkan ke hutan rawa buatan vegetasi yang ditemukan menjadi 15 spesies. *Cyperus iria*, *Fimbristylis griffithii*, *Scirpus juncoides*, *Ludwigia hyssopifolia*, *Cyperus platystylis* dan *Monochoria vaginalis* merupakan enam spesies dominan yang dapat dijadikan agen fitoremediasi di hutan rawa buatan.

Kata kunci: air asam tambang, rawa buatan, fitoremediasi

PENDAHULUAN

Indonesia memegang peringkat keempat sebagai penghasil batubara terbesar di dunia (British Petroleum 2017) proses penambangan dilakukan dengan metode terbuka (*open pit mine*). Provinsi Kalimantan Selatan memiliki lebih dari 30 perusahaan tambang batubara yang melakukan tambang dengan metode terbuka. PT Jorong Barutama Greston (JBG) merupakan salah satu perusahaan tambang batubara yang menggunakan metode tambang terbuka. Kegiatan penambangan diawali dengan pengupasan lapisan tanah dan bantuan penutup

(*overburden*) yang dapat mengganggu lingkungan. Area pit penambangan merupakan area yang tidak dapat terhindar dari potensi pembentukan air asam tambang (AAT) (Gautama 2012). Widyati (2006) menyampaikan bahwa permasalahan utama akibat penambangan terbuka ialah terbentuknya AAT. AAT adalah air tambang yang mengandung sulfat bebas, logam berat berupa Fe, Al, Mn dan bersifat masam, ditandai dengan nilai pH rendah yaitu 3 sampai 5. Pirit dan markasit (FeS₂) merupakan mineral sulfida yang menjadi penghasil AAT utama di lokasi pertambangan batubara.

Air yang terkontaminasi dengan AAT mengandung logam dengan konsentrasi tinggi yang dapat meracuni organisme perairan (Jenning *et al.* 2008). Secara umum pengelolaan AAT dapat dilakukan dengan metode aktif (*active treatment*) dan pasif (*passive treatment*). Metode pengelolaan secara aktif dapat dilakukan dengan penambahan bahan kimia dalam proses netralisasi AAT berupa kapur (CaCO_3). Metode aktif membutuhkan biaya konstruksi dan perawatan relatif mahal (Skousen dan Ziemkiewicz 2000). AAT akan terbentuk secara terus menerus sehingga dibutuhkan metode lain dalam pengelolaan.

Metode pasif dapat dijadikan alternatif dalam pengelolaan AAT. Salah satu bentuk dari metode pasif adalah *constructed swamp forest* (hutan rawa buatan). Sistem hutan rawa buatan menggunakan bahan organik yang bertujuan untuk menstimulasi pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat dan berfungsi sebagai media tumbuh tanaman, sehingga menaikkan pH dan penyerapan logam berat terjadi secara anaerob. Fitoremediasi merupakan upaya pemilihan jenis tumbuhan serta teknik pemanfaatannya dalam akumulasi logam untuk membersihkan lingkungan dari hamparan logam berat yang bersifat toksik.

Hutan rawa buatan sudah dibangun sejak Desember 2017 oleh PT JBG yang terletak di Kalimantan Selatan mengalami fenomena alami yaitu tumbuhnya tumbuhan lain seperti rumput-rumputan, tumbuhan air, dan semak yang menginvasi pada setiap kompartemen. Sehingga keanekaragaman hayati pada hutan rawa buatan mengalami penambahan jenis potensial yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi. Menurut Pratomo (2004) beberapa tumbuhan mampu merubah dan mendegradasi senyawa organik atau anorganik yang mempunyai toksisitas yang tinggi menjadi lebih rendah. Hasil penelitian (Juhaeti *et al.* 2005) menunjukkan bahwa *Cynodon dactylon*, *Cyperus* sp dan *Ischaemum timorense* merupakan jenis-jenis rumput yang tumbuh dominan di sekitar *tailing*. Penelitian ini merupakan langkah awal untuk mendapatkan jenis tumbuhan potensial sebagai agen fitoremediasi yang dapat beradaptasi pada AAT dengan tingkat kelarutan logam yang tinggi. Tujuan penelitian yaitu untuk mengidentifikasi keanekaragaman tumbuhan potensial sebagai agen fitoremediasi di hutan rawa buatan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret - Juli 2018. Lokasi penelitian berada di Desa Swarangan, Kecamatan Jorong, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Metode yang digunakan adalah *purposive sampling* dengan ukuran petak contoh 2 x 2 m sebanyak 10 petak/kompartemen. Pengambilan data dilakukan pada rawa buatan yang terdiri dari empat kompartemen dengan ukuran 55 x 15 m. Pengamatan pertama dilakukan ketika AAT belum dialirkan. Posisi petak contoh ditempatkan secara berurutan mulai dari

yang terdekat dengan *inlet* kompartemen. Pengamatan kedua dilakukan ketika AAT sudah dialirkan. AAT yang mengalir membutuhkan waktu ± 4 jam untuk sampai ke *outlet* kompartemen IV. Debit AAT yang mengalir melalui *inlet* kompartemen hutan rawa buatan yaitu 0,1 m³/detik. Desain penempatan petak contoh per kompartemen dapat dilihat pada Gambar 1.

AAT yang masuk akan mengalir terus ke setiap kompartemen sehingga pengukuran pH dilakukan pada setiap *inlet* dan *outlet* kompartemen, hal ini untuk mengetahui naik atau tidaknya pH. Setelah pengukuran pH dilakukan kemudian pengambilan contoh AAT yang ada di setiap kompartemen untuk dianalisis kandungan *total suspended solid* (TSS), Fe, Mn. Analisis air dilakukan di laboratorium milik perusahaan dengan menggunakan *spektrofotometri* (alat untuk analisis air). Pengambilan contoh AAT menggunakan botol 1 000 mL dengan kondisi penuh (tanpa oksigen). Hal ini untuk mengurangi kandungan AAT tercemar udara luar.

Perhitungan dalam analisis vegetasi mengacu pada Soerianegara dan Indrawan (2002) sebagai berikut:

$$\text{Kerapatan Suatu Spesies} = \frac{\text{Jumlah individu suatu spesies}}{\text{Jumlah luas plot contoh yang digunakan}} (\text{ind/ha})$$

$$\text{Kerapatan relatif (\%)} = \frac{\text{Kerapatan dari suatu spesies}}{\text{Kerapatan total spesies yang terambil dalam penarikan contoh}}$$

$$\text{Frekuensi Suatu Spesies} = \frac{\text{Jumlah petak ditemukannya suatu spesies}}{\text{Jumlah seluruh petak}}$$

$$\text{Frekuensi Relatif (\%)} = \frac{\text{Jumlah frekuensi dari suatu spesies}}{\text{Jumlah frekuensi seluruh spesies}} \times 100 \%$$

$$\text{Indeks Nilai Penting (INP)} = \text{Kerapatan relatif} + \text{Frekuensi relatif}$$

Keanekaragaman spesies tumbuhan ditentukan dengan menggunakan indeks keanekaragaman Shannon (Magurran 1988) dengan rumus:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i, p_i = \frac{n_i}{N}$$

Keterangan:

H' : indeks keanekaragaman spesies

n_i : jumlah individu spesies ke-i

N : jumlah individu keseluruhan dalam petak contoh

Indeks kemerataan spesies menunjukkan kemerataan individu setiap spesies dalam suatu areal. Magurran (1988) menjelaskan bahwa nilai indeks kemerataan berkisar antara 0-1. Nilai indeks kemerataan akan mencapai maksimum (sebesar 1) jika seluruh spesies memiliki jumlah individu yang sama. Indeks kemerataan spesies dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Magurran 1988) sebagai berikut:

$$E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Keterangan:

E : indeks kemerataan spesies

H' : indeks keanekaragaman spesies

S : jumlah spesies yang ditemukan

Magurran (1988) menjelaskan bahwa nilai kekayaan spesies dibagi kedalam tiga kategori yaitu rendah ($R < 3,5$), sedang ($3,5 < R < 5,0$) dan tinggi ($R > 5,0$). Indeks kekayaan spesies ditentukan dengan menggunakan rumus Margalef dalam Magurran (1988) sebagai berikut:

$$R = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

Keterangan:

- R : indeks kekayaan spesies
S : jumlah spesies
N : jumlah individu

Indeks kesamaan komunitas merupakan nilai yang digunakan untuk mengetahui kesamaan relatif dari komposisi jenis dan struktur antara dua komunitas yang dibandingkan (Soerianegara dan Indrawan 2002). Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$IS = \frac{2W}{a + b}$$

Keterangan:

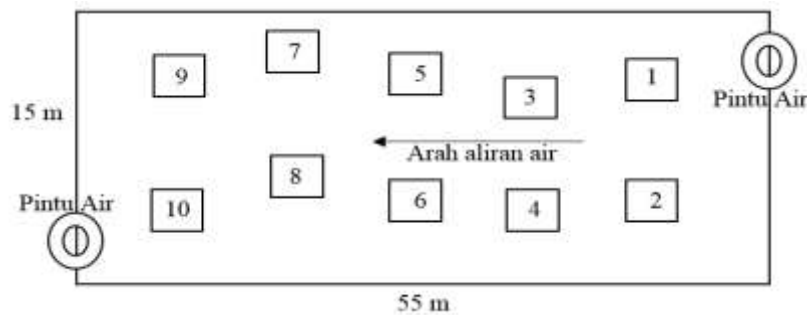
- IS : indeks kesamaan komunitas
W : jumlah dari nilai penting yang lebih kecil dari dua komunitas
a : jumlah INP dari semua spesies yang terdapat pada komunitas a
b : jumlah INP dari semua spesies yang terdapat pada komunitas b

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengelolaan AAT dengan Menggunakan Hutan Rawa Buatan di PT JBG

Hutan rawa buatan merupakan hasil kerjasama antara PT JBG dengan SEAMEO Biotrop dalam pengelolaan AAT dengan menggunakan metode pasif. Salah satu *void* yang menjadi sumber utama AAT pada hutan rawa buatan adalah *void* UC-West yang memiliki luas mencapai 63,4 ha dengan elevasi 14 mdpl. Lokasi penelitian hutan rawa buatan di PT JBG dapat dilihat pada Gambar 2.

Hutan rawa buatan yang terdiri dari dua *sediment pond* (kolam pengendap lumpur) dan empat kompartemen dengan dimensi (P) 55 m X (L) 15 m X (h) 2 m. AAT yang masuk ke hutan rawa buatan memiliki debit sebesar 0,1 m³ per detik yang kemudian dialirkan melalui sistem kanal (*channel*) sehingga AAT akan terlebih dahulu masuk ke kolam pengendap lumpur, selanjutnya masuk ke dalam kompartemen I, II, III dan IV melalui *inlet* yang ada pada setiap kompartemen. AAT yang keluar melalui *outlet* kompartemen IV harus memenuhi Kepmen LH No 113 Tahun 2003 tentang syarat baku mutu limbah air pertambangan batubara. Selanjutnya AAT akan masuk ke Sungai Katal-katal yang berada disekitar hutan rawa buatan. Untuk mengetahui kualitas AAT sebelum dialirkan ke hutan rawa buatan perlu dilakukan analisis AAT terlebih dahulu. Hasil analisis AAT yang ada di *void* UC-West dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1 Contoh petak pengamatan pada setiap kompartemen



Gambar 2 Lokasi penelitian hutan rawa buatan di *void* UC-West PT JBG

Tabel 1 Hasil analisis AAT yang ada di void UC-West

Parameter	Hasil Analisis	Kadar Maksimum Kepmen LH No 113/2003
Konsentrasi Fe	1,16 mg/l	7 mg/l
Konsentrasi Mn	4,7 mg/l	4 mg/l
pH	3,5	6-9
TSS	42 mg/l	400 mg/l

Tabel 1 Hasil analisis AAT setelah dialirkan ke hutan rawa buatan

Kompartemen	Konsentrasi Fe	Konsentrasi Mn	TSS	pH
I	0,42 mg/l	3,7 mg/l	36 mg/l	5,12
II	0,31 mg/l	2,9 mg/l	67 mg/l	5,37
III	0,11 mg/l	2,7 mg/l	168 mg/l	5,57
IV	0,08 mg/l	2,2 mg/l	128 mg/l	6,27

Berdasarkan hasil uji kualitas AAT dapat dilihat pada Tabel 1, nilai pH AAT sangat rendah yaitu 3,5. Data pH AAT tersebut menunjukkan bahwa AAT pada void UC-West merupakan AAT tipe “net acid”. Hal ini dapat dilihat dari rendahnya pH AAT yaitu $< 4,5$ dimana pada pH $< 4,5$ alkalinitas dapat mencapai nol (Watzlaf *et al.* 2004). Tingginya kemasaman AAT juga menyebabkan logam terlarut cukup tinggi, terutama konsentrasi Mn yaitu 4,7 mg/l. Analisis juga dilakukan pada saat AAT dialirkan ke hutan rawa buatan.

Berdasarkan hasil analisis AAT dapat dilihat pada Tabel 2, kompartemen IV menunjukkan peningkatan pH menjadi 6,27 dan penurunan konsentrasi Mn menjadi 2,2 mg/l. Di De Sale, Amerika, penerapan lahan basah dapat meningkatkan pH dari 3,1 menjadi 6,9 dan menurunkan konsentrasi Fe, Mn hingga dibawah 1 mg/l (Denholm 2016 dalam Yusmur 2018). Lahan basah terbukti dapat menurunkan kadar logam terlarut dan meningkatkan pH (Tuheteru 2015), serta pengelolaan AAT dengan sistem *wetlands* dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama (Sheoran dan Sheoran 2006). Berdasarkan hasil penelitian Madaniyah (2016) menunjukkan bahwa penggunaan tanaman air seperti eceng gondok (*Eichornia crassipes*), kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan kiambang (*Salvinia molesta*) dapat memberikan pengaruh terhadap nilai pH, konsentrasi Fe, Mn dan TSS pada AAT. Logam Fe dan Mn banyak terakumulasi dan terendapkan pada bagian dasar kolam.

2. Keanekaragaman Tumbuhan di Hutan Rawa Buatan

Berdasarkan hasil analisis vegetasi di hutan rawa buatan terdapat 6 famili dengan 19 spesies tumbuhan yang ditemukan pada kompartemen I, II, III, IV. Famili yang mendominasi pada saat AAT belum dialirkan ke hutan rawa buatan yaitu Cyperaceae dan Poaceae yang terdiri dari 7 spesies dan 6 spesies. *Cyperus kyllingia*, *Paspalum commersonii* dan *Cyperus difformis* hanya ditemukan pada kompartemen I dan II. *Grangea maderaspatana* dan *Ageratum conyzoides* ditemukan pada kompartemen II dan III. *Oriza sativa*, *Paspalum*

longiflorum dan *Eragrostis unioides* merupakan spesies yang hanya ditemukan pada kompartemen I sedangkan *Eleusine indica* hanya ditemukan pada kompartemen II dan *Cyperus distans* pada kompartemen III. Jumlah individu tumbuhan pada saat AAT belum dialirkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa kompartemen II memiliki jumlah individu paling banyak yaitu 2 368 dan kompartemen III memiliki jumlah individu paling sedikit yaitu 1.202. *L. flava*, *E. prostrata*, *C. platystylis*, *C. iria*, *F. griffithii*, *S. Juncoides*, *L. hypsopifolia*, *E. polystachya*, dan *M. vaginalis* merupakan 9 spesies yang ditemukan pada kompartemen I, II, III dan IV. Jumlah individu tumbuhan pada saat AAT belum dialirkan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa kompartemen II memiliki jumlah individu terbanyak yaitu 1.990, sedangkan kompartemen III memiliki jumlah individu paling sedikit yaitu 839. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan pada saat AAT sudah dialirkan terdapat 13 spesies yang berasal dari 6 famili berbeda. Famili Cyperaceae, Compositae dan Poaceae mendominasi pada saat AAT dialirkan. *C. platystylis*, *C. iria*, *F. griffithii*, *S. Juncoides* dan *M. vaginalis* merupakan 5 spesies yang ditemukan pada kompartemen I, II, III dan IV.

Hasil pengamatan Juhaeti *et al.* (2005) menunjukkan bahwa populasi tumbuhan terbanyak yang tumbuh di sekitar *tailing* berasal dari famili Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae, dan Scrophulariaceae. Lima spesies yang ditemukan pada setiap kompartemen merupakan jenis tumbuhan potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai agen fitoremediasi. Masing-masing kompartemen memiliki jenis tumbuhan yang berbeda-beda. Kusmana dan Susanti (2015) menjelaskan bahwa dominannya suatu jenis tumbuhan disebabkan oleh kemampuan yang lebih baik dalam memanfaatkan sumberdaya yang ada dibandingkan dengan jenis-jenis yang lain. Menurut Dhir (2013) ada 3 kategori utama spesies tanaman air yang dapat menghilangkan kontaminan yaitu spesies *free-floating*, *submerged* dan *emergent*.

Tabel 3 Jumlah individu (ind/40 m²) tumbuhan pada saat AAT belum dialirkan

No	Nama spesies	Famili	Kompartemen (ind/40 m ²)			
			I	II	III	IV
1	<i>Scirpus juncoides</i> Roxb	Cyperaceae	304	477	255	664
2	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	Onagraceae	494	634	188	20
3	<i>Fimbristylis griffithii</i> Boeck	Cyperaceae	239	299	187	259
4	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. F) C. Presl	Pontederiaceae	401	233	148	92
5	<i>Cyperus iria</i> L	Cyperaceae	195	202	79	104
6	<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenau	Alismataceae	101	78	85	35
7	<i>Cyperus platystylis</i> R. B	Cyperaceae	37	111	47	71
8	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L	Compositae	24	103	66	17
9	<i>Grangea maderaspatana</i> (L.) Poir	Compositae	-	51	87	-
10	<i>Ageratum conyzoides</i> (L.) L	Compositae	-	72	31	-
11	<i>Eriochloa polystachya</i> H.B.K	Poaceae	61	11	9	4
12	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn	Poaceae	-	54	-	-
13	<i>Oryza sativa</i> L	Poaceae	52	-	-	-
14	<i>Cyperus killingia</i> Endl	Cyperaceae	35	13	-	-
15	<i>Paspalum commersonii</i> Lamk	Poaceae	4	25	-	-
16	<i>Cyperus distans</i> L.f	Cyperaceae	-	-	20	-
17	<i>Paspalum longiflorum</i> Roxb	Poaceae	11	-	-	-
18	<i>Eragrostis unioides</i> (Retz.) Nees & Steud	Poaceae	10	-	-	-
19	<i>Cyperus difformis</i> L	Cyperaceae	3	5	-	-
Jumlah			1.971	2.368	1.202	1.266

Tabel 4 Jumlah individu (ind/40 m²) tumbuhan pada saat AAT sudah dialirkan

No	Nama spesies	Famili	Kompartemen			
			I	II	III	IV
1	<i>Scirpus juncoides</i> Roxb	Cyperaceae	256	413	185	652
2	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	Onagraceae	414	708	159	-
3	<i>Fimbristylis griffithii</i> Boeck	Cyperaceae	204	250	157	164
4	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. F) C. Presl	Pontederiaceae	384	193	115	69
5	<i>Cyperus iria</i> L	Cyperaceae	131	129	63	57
6	<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenau	Alismataceae	57	38	45	11
7	<i>Cyperus platystylis</i> R. B	Cyperaceae	-	81	-	43
8	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L	Compositae	-	67	36	-
9	<i>Grangea maderaspatana</i> (L.) Poir	Compositae	-	24	61	-
10	<i>Ageratum conyzoides</i> (L.) L	Compositae	-	43	18	-
11	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn	Poaceae	-	44	-	-
12	<i>Oryza sativa</i> L	Poaceae	39	-	-	-
13	<i>Eriochloa polystachya</i> H.B.K	Poaceae	29	-	-	-
Jumlah			1.514	1.990	839	996

Hasil penelitian Dos Santos dan Lenzi (2000) menjelaskan bahwa eceng gondok (*Eichornia crassipes*) mampu mengurangi konsentrasi logam berat pada AAT tanpa banyak menunjukkan gejala keracunan karena memiliki sistem perakaran serabut dan mempunyai kecepatan pertumbuhan yang tinggi sehingga akumulasi biomasnya semakin besar. Sumber propagul dari vegetasi yang ada di hutan rawa buatan adalah dari bahan organik berupa kotoran sapi. Selain menyediakan unsur hara dan mikroba dekomposer, kotoran sapi juga mengandung biji-bijian rumput dan tanaman lain yang turut termakan sapi, dengan demikian akan tumbuh berbagai jenis rumput dan perdu (Mansur 2013). Hal ini

sejalan dengan penelitian Munawar (2007) bahwa pemberian bahan organik dapat memperbaiki kualitas AAT dengan meningkatkan pH dan menurunkan konsentrasi Fe dan Mn terlarut. Rincian lima jenis tumbuhan yang memiliki kerapatan relatif, frekuensi relatif dan indeks nilai penting tertinggi pada setiap kompartemen dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan perbedaan jenis tumbuhan yang mampu tumbuh dan bertahan ketika AAT dialirkan pada setiap kompartemen. Kompartemen I dan II didominasi oleh *L. hyssopifolia* sedangkan kompartemen III dan IV didominasi oleh *S. juncoides*. Karathanasis dan Thompson (1995) menjelaskan bahwa Al dan Fe

tertahan pada akar tanaman sedangkan Mn lebih bebas terakumulasi di seluruh bagian tanaman pada pengelolaan AAT dengan sistem hutan rawa buatan dengan jenis tanaman *Typha latifolia*, *Scirpus validus* dan *Bidens aristosa*.

Ludwig dan Reynolds (1988) menjelaskan bahwa dominannya suatu jenis tumbuhan disebabkan oleh kemampuan yang lebih baik dalam memanfaatkan sumberdaya yang ada dibandingkan dengan jenis-jenis yang lain. *Ludwigia hyssopifolia*, *Scirpus juncooides*, *Fimbristylis griffithii*, *Monochoria vaginalis*, *Cyperus iria* merupakan spesies dominan yang memiliki INP


tertinggi pada kompartemen I, II, dan III sedangkan *Ludwigia hyssopifolia*, *Scirpus juncooides*, *Fimbristylis griffithii*, *Monochoria vaginalis* dan *Cyperus platystylis* merupakan spesies dominan pada kompartemen IV. Enam spesies tumbuhan potensial tersebut memiliki habitat tempat tumbuh pada daerah rawa dan tempat terbuka. Penyebaran tumbuhan dominan yang berpotensi sebagai agen fitoremediasi biasanya dibantu oleh agen pembawa biji seperti angin, air dan makhluk hidup. Enam spesies tumbuhan potensial sebagai agen fitoremediasi dapat dilihat pada Tabel 6.





Tabel 5 Lima jenis tumbuhan yang memiliki kerapatan relatif, frekuensi relatif dan indeks nilai penting tertinggi pada setiap kompartemen.


No	Jenis	KR (%)		FR (%)		INP (%)	
		A	B	A	B	A	B
Kompartemen I							
1	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	25,06	27,34	11,76	16,39	36,83	43,74
2	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. F) C. Presl	20,35	25,36	11,76	16,39	32,11	41,76
3	<i>Scirpus juncoides</i> Roxb	15,42	16,91	11,76	16,39	27,19	33,30
4	<i>Fimbristylis griffithii</i> Boeck	12,13	13,47	11,76	16,39	23,89	29,87
5	<i>Cyperus iria</i> L	9,89	8,65	11,76	13,11	21,66	21,77
Kompartemen II							
1	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	26,74	35,58	10,87	13,51	37,61	49,09
2	<i>Scirpus juncoides</i> Roxb	20,12	20,75	10,87	13,51	30,99	34,27
3	<i>Fimbristylis griffithii</i> Boeck	12,61	12,56	10,87	13,51	23,48	26,08
4	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. F) C. Presl	9,83	9,70	10,87	13,51	20,70	23,21
5	<i>Cyperus iria</i> L	8,52	6,48	10,87	10,81	19,39	17,29
Kompartemen III							
1	<i>Scirpus juncoides</i> Roxb	20,99	22,05	13,64	18,75	34,62	40,80
2	<i>Fimbristylis griffithii</i> Boeck	15,39	18,71	12,12	16,67	27,51	35,38
3	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. F) C. Presl	12,18	13,71	13,64	14,58	25,82	28,29
4	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	15,47	18,95	7,58	8,33	23,05	27,28
5	<i>Cyperus iria</i> L	8,97	7,51	7,58	10,42	16,55	17,93
Kompartemen IV							
1	<i>Scirpus juncoides</i> Roxb	52,04	65,46	15,63	23,81	67,66	89,27
2	<i>Fimbristylis griffithii</i> Boeck	20,30	16,47	15,63	23,81	35,92	40,28
3	<i>Cyperus iria</i> L	8,15	5,72	14,06	14,29	22,21	20,01
4	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. F) C. Presl	7,21	6,93	14,06	21,43	21,27	28,36
5	<i>Cyperus platystylis</i> R. B	5,56	4,32	10,94	11,90	16,50	16,22

Keterangan: A=sebelum AAT dialirkan, B=sesudah AAT dialirkan, KR=kerapatan relatif, FR=frekuensi relatif, INP=indeks nilai penting

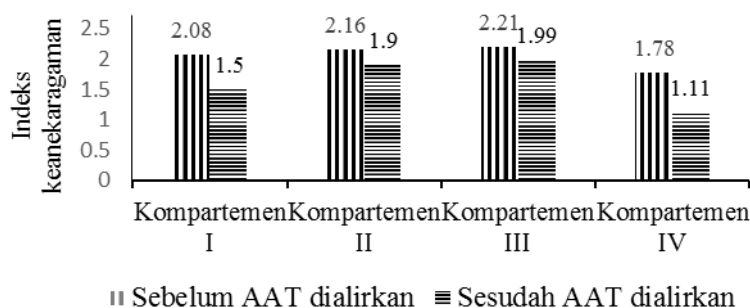
Tabel 6 Enam spesies tumbuhan potensial sebagai agen fitoremediasi

Nama Latin	Gambar	Keterangan
<i>Scirpus juncooides</i>		Habitat di rawa dan tempat terbuka. Batang berbentuk segitiga. Perbungaan diujung batang, beberapa ada yang bercabang, bulir berwarna kuning kecoklatan, hidup berkelompok.
	Purun tikus	

Nama Latin	Gambar	Keterangan
<i>Cyperus platystylis</i>		Daun berbentuk garis tajam. Memiliki batang dengan bentuk segitiga. Bunga memiliki anak bulir panjang. Perbanyakkan dengan menggunakan biji yang sangat banyak sehingga mudah menyebar luas. Memiliki akar serabut yang tebal.
	Teki para	
<i>Ludwigia hyssopifolia</i>		Terna. Memiliki tangkai putik berwarna kuning-kehijauan pucat, bunga berwarna kuning terang dengan panjang 1–1,5 mm, gulma yang sangat umum dijumpai di sekitaran kolam, sepanjang aliran air.
	Cacabeau	
<i>Monochoria vaginalis</i>		Terna. Tumbuh berkelompok, memiliki rimpang berukuran pendek, termasuk jenis akar serabut, warna akarnya putih. Tumbuh di daerah rawa, bisa hidup di lumpur dan tumbuh subur di lahan berair yang terbuka.
	Eceng leutik	
<i>Fimbristylis griffithii</i>		Tumbuh subur di daerah rawa-rawa. Memiliki akar serabut, batang licin berbentuk bulat, menghasilkan biji yang banyak dengan masa dormansi yang panjang sehingga menyebar dengan luas. Daun berbentuk jarum, berwarna hijau muda.
	Teki parang	

Nama Latin	Gambar	Keterangan
<i>Cyperus iria</i>		Memiliki akar serabut. Batang berbentuk segitiga tajam, licin, tinggi 5-80 cm. Bunga majemuk, dapat berkembangbiak dengan cepat karena dapat menghasilkan 3.000-5.000 biji per individu.
	Teki jekeng	

Sumber: Hidayat *et al.* 2004.



Gambar 3 Indeks keanekaragaman spesies (H') pada setiap kompartemen

Tabel 6 menunjukkan bahwa terdapat enam spesies yang dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi pada saat AAT dialirkan. *Scirpus juncooides*, *Fimbristylis griffithii*, *Cyperus iria*, *Cyperus platystylis* merupakan tumbuhan dari famili Cyperaceae yang sering ditemukan pada daerah rawa, dapat berkembang biak dengan cepat karena dapat menghasilkan biji yang banyak. Enam spesies tumbuhan potensial tersebut memiliki habitat tempat tumbuh pada daerah rawa dan tempat terbuka. Penyebaran tumbuhan dominan yang potensial sebagai agen fitoremediasi biasanya dibantu oleh agen pembawa biji seperti angin, air dan makhluk hidup.

Indeks keanekaragaman spesies yang diperoleh tergolong rendah yaitu $H' < 2,5$. Kompartemen I, II, III dan IV sebelum AAT dialirkan mempunyai indeks keanekaragaman lebih besar dibandingkan sesudah AAT dialirkan. Tingkat keanekaragaman tumbuhan pada setiap kompartemen dipengaruhi oleh jumlah spesies dan jumlah individu yang tersebar secara merata (Krebs 1978). Nilai indeks keanekaragaman sangat dipengaruhi oleh kelimpahan dan pemerataan spesies. Fachrul (2007) menyebutkan bahwa indeks keanekaragaman merupakan parameter yang berguna untuk mengetahui keadaan suksesi atau stabilitas komunitas. Indeks keanekaragaman spesies (H') pada setiap kompartemen dapat dilihat pada Gambar 3.

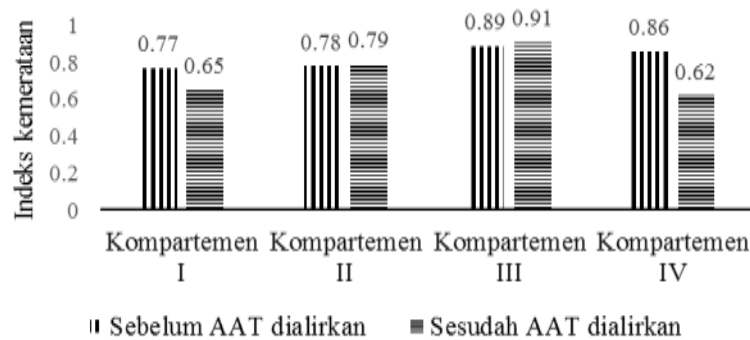
Gambar 3 menunjukkan bahwa kompartemen III memiliki indeks keanekaragaman tertinggi yaitu 2,21

pada saat AAT belum dialirkan menjadi 1,99 pada saat AAT sudah dialirkan sedangkan kompartemen IV memiliki indeks keanekaragaman terendah yaitu 1,78 pada saat AAT belum dialirkan menjadi 1,11 pada saat AAT sudah dialirkan.

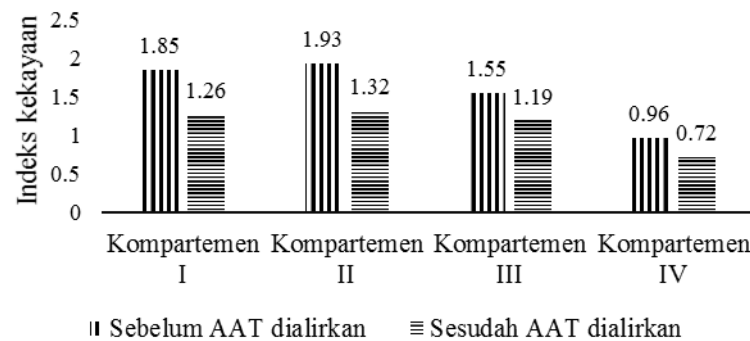
Indeks kemerataan spesies yang diperoleh secara keseluruhan tergolong tinggi karena cenderung mendekati 1. Ludwig dan Reynolds (1988) menyatakan bahwa penambahan jenis pada suatu komunitas, terutama jenis yang memiliki nilai individu yang rendah dapat berpengaruh signifikan terhadap nilai indeks kemerataan jenis. Indeks kemerataan spesies (E) pada setiap kompartemen dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa kompartemen III memiliki indeks kemerataan spesies yang tergolong tinggi yaitu 0,89 pada saat AAT belum dialirkan dan meningkat menjadi 0,91 ketika AAT sudah dialirkan. Jumlah spesies yang ditemukan pada saat AAT belum dialirkan dan sudah dialirkan menunjukkan penyebaran spesies yang merata dalam setiap kompartemen.

Jumlah spesies pada kompartemen I, II, III dan IV mengalami penurunan pada saat AAT dialirkan, hal ini akan berbanding lurus dengan nilai indeks kekayaan. Indeks kekayaan spesies yang diperoleh tergolong rendah ($R < 2,5$). Indeks kekayaan spesies (R) pada setiap kompartemen dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Indeks kemerataan spesies (E) pada setiap kompartemen



Gambar 5 Indeks kekayaan spesies (R) pada setiap kompartemen

Tabel 7 Indeks kesamaan komunitas (IS) pada setiap kompartemen

Sebelum	Sesudah			
	Kompartemen I	Kompartemen II	Kompartemen III	Kompartemen IV
Kompartemen I	85 %	61 %	71 %	55 %
Kompartemen II	72 %	89 %	80 %	56 %
Kompartemen III	69 %	82 %	88 %	58 %
Kompartemen IV	63 %	75 %	75 %	83 %

Gambar 5 menunjukkan bahwa kompartemen II memiliki indeks kekayaan tertinggi pada saat AAT dialirkan yaitu 1,32. Sedangkan kompartemen IV memiliki indeks kekayaan paling rendah pada saat AAT dialirkan yaitu 0,72. Hal ini disebabkan karena perbedaan jumlah individu pada setiap kompartemen dipengaruhi oleh kedalaman kompartemen yang berbeda-beda. Nilai indeks kekayaan berbanding lurus dengan jumlah spesies tumbuhan pada suatu komunitas. Semakin banyak jumlah spesies yang ditemukan, maka indeks kekayaan akan semakin tinggi (Oladoye *et al.* 2014).

Indeks kesamaan komunitas di kompartemen I, II, III dan IV menunjukkan tingkat kesamaan komposisi jenis pada saat AAT belum dialirkan dengan sesudah AAT dialirkan. Indeks kesamaan komunitas pada setiap kompartemen dapat dilihat Tabel 7.

Tabel 7 menunjukkan bahwa komposisi jenis setiap kompartemen I, II, III dan IV pada AAT belum dialirkan dan sesudah dialirkan memiliki jenis penyusun yang dominan sehingga cenderung sama dengan nilai IS

berkisar antara 83% - 89%. Kompartemen I, II, III sebelum AAT dialirkan yang dibandingkan dengan kompartemen IV sesudah AAT dialirkan memiliki nilai IS antara 55% - 58% sehingga dapat diartikan jenis penyusun yang tidak sama karena nilai $IS < 75\%$ (Ludwig dan Reynolds 1988). Berkurangnya jenis penyusun yang dominan disebabkan oleh kemampuan tumbuhan untuk dapat hidup dan beradaptasi pada kondisi tergenang AAT setiap komunitas berbeda-beda.

SIMPULAN

Pengelolaan AAT di PT Jorong Barutama Greston dilakukan secara *passive treatment* menggunakan hutan rawa buatan yang terdiri dari 6 kompartemen (2 kompartemen pengendap lumpur dan 4 kompartemen rawa buatan). Sumber AAT berasal dari void UC-West yang memiliki luas 63,4 ha dengan elevasi 14. Hasil analisis vegetasi pada hutan rawa buatan sebelum AAT dialirkan ditemukan sebanyak 19 spesies yang mampu tumbuh, pada saat AAT dialirkan vegetasi yang

ditemukan menjadi 13 spesies. *Cyperus iria*, *Fimbristylis griffithii*, *Scirpus juncooides*, *Ludwigia hyssopifolia*, *Cyperus platystylis* dan *Monochoria vaginalis* merupakan enam spesies dominan yang berpotensi sebagai agen fitoremediasi pada hutan rawa buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [BP] British Petroleum. 2017. BP Statistical Review Of World Energy June 2017. [Diunduh 16 Desember 2017]. Tersedia pada: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- Dhir B. 2013. *Phytoremediation: Role of Aquatic Plants in Environmental Clean-Up*. New Delhi (IN) : Springer.
- Dos Santos MC, Lenzi E. 2000. The use of aquatic macrophytes (*Eichornia crassipes*) as a biological filter in the treatment of lead contaminated effluents. *Environ Technol*. 1(6):615-622.
- Fachrul MF. 2007. *Metode Sampling Bioekologi*. Jakarta (ID): PT Bumi Aksara.
- Gautama RS. 2012. Pengelolaan air asam tambang. Bimbingan teknis reklamasi dan pascatambang pada kegiatan pertambangan Mineral dan Batubara, Yogyakarta, 20 Juni 2012. Yogyakarta (ID): Ditjen Mineral dan Batubara.
- Hidayat S, Yuzammi, Hartini S, Astuti IP. 2004. *Seri Koleksi Tanaman Air Kebun Raya Bogor Volume 1 No. 5*. Bogor (ID): PKT- Kebun Raya Bogor.
- Jenning SR, Neuman DR, Blicher PS. 2008. *Acid Mine Drainage and Effect on Fish Health Ecology: A Review*. Bozeman (US): Reclamation Research Group Publication.
- Juhaeti T, Syarif F, Hidayati N. 2005. Inventarisasi tumbuhan potensial untuk fitoremediasi lahan dan air terdegradasi penambangan emas. *Jurnal Biodiversitas*. 6(1):31-33.
- Karathanasis AD, Thompson YL. 1995. Mineralogy of iron precipitates in a constructed acid mine drainage wetland. *American Journal of Soil Science* 59: 1773-1781.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Syarat Baku Mutu Air Limbah Penambangan Batubara. Jakarta (ID): Jakarta.
- Krebs CJ. 1978. *Ecology : The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. New York (US): Harper and Row Publisher.
- Kusmana C, Susanti S. 2015. Komposisi dan struktur tegakan hutan alam Di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Sukabumi. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 5(3): 210-217.
- Ludwig JA, Reynolds JF. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods on Computing*. New York (US): John Wiley.
- Madaniyah. 2016. Efektivitas tanaman air dalam pembersihan logam berat pada air asam tambang. [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Magurran AE. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. London (UK): Chapman and Hall.
- Mansur I. 2013. *Teknik Silvikultur untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang*. Bogor (ID). SEAMEO BIOTROP.
- Munawar A. 2007. Pemanfaatan sumberdaya biologis lokal untuk pengendalian pasif air asam tambang : Hutan rawa buatan. *J Tanah Lingk*. 7(1); 31-42.
- Oladoye AO, Aduradola AM, Adedire MO, Agboola DA. 2014. Composition and stand structure of regenerating tropical rainforest ecosystem in South-Western Nigeria. *Internasional Journal Of Biodiversity and Conservation*. 6(11): 765-776.
- Pratomo S. 2004. Fitoremediasi Zn (Seng) menggunakan tanaman normal dan transgenik *Solanum nigrum* L [tesis]. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Sheoran AS, Sheoran V. 2006. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: A Critical Review. *Minerals Engineering*. 19: 105-116.
- Soerianegara I, Indrawan A. 2002. *Ekologi Hutan Indonesia*. Bogor (ID): Laboratorium Ekologi Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Skousen J.G, Ziemkiewicz P.F. 2000. *Acid Mine Drainage Control and Treatment. Second Edition*. Morgantown: National Research Center for Coal and Energy, West Virginia University.
- Tuheteru FD. 2015. Potensi lonkida (*Nauclea orientalis* L.) untuk fitoremediasi lahan basah air asam tambang. [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Watzlaf GR, Schroeder KT, Kleinmann RLP, Kairies CL, Nairn RW. 2004. *The Passive Treatment of Coal Mine Drainage*. Washington DC (US): Departement of Energy, Pittsburg.
- Widyati E. 2006. Bioremediasi tanah bekas tambang batubara dengan sludge industri kertas untuk memacu revegetasi lahan. [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Yusmur A. 2018. Identifikasi dan mitigasi air asam tambang melalui hutan rawa buatan di lahan pasca tambang. [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.